

ABSTRAK

Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) secara langsung di lapangan memiliki keterbatasan fisik dan biaya, sehingga pengguna membutuhkan sistem emulator untuk simulasi praktikum di laboratorium. Proyek capstone design ini bertujuan merancang spesifikasi sistem penggerak mula berkarakteristik Constant Power Source (CPS), di mana pasokan daya listrik masukan diregulasi secara konstan sebagai representasi ekuivalen dari laju debit air turbin. Kriteria keberterimaan (acceptance criteria) yang ditargetkan pada perancangan ini adalah tercapainya galat keadaan tunak (steady-state error) $\leq 5\%$ pada rentang kapasitas operasi daya dinamis yang bergantung pada subsistem Electronic Load Controller (ELC). Proses sintesis desain diimplementasikan menggunakan aktuator Motor DC dengan kerangka fungsi masukan, proses, dan keluaran yang terintegrasi. Pada tahap akuisisi (masukan), sistem menggunakan Analog-to-Digital Converter (ADC) eksternal ADS1115 16-bit dan filter Exponential Moving Average (EMA) untuk meminimalkan derau pembacaan. Algoritma Proportional-Integral (PI) kemudian mengeksekusi komputasi (proses) di dalam ekosistem Real-time Operating System (FreeRTOS) pada mikrokontroler ESP32 guna memblokir penundaan tugas (blocking task). Hasil komputasi tersebut memodulasi sinyal Pulse width modulation (PWM) pada driver motor (keluaran) untuk menahan daya secara konstan. Berdasarkan penalaan eksperimental menggunakan pemodelan analitis First Order Plus Dead Time (FOPDT), algoritma PI terbukti secara empiris lebih superior dan tahan banting (robust) dibandingkan PID yang mengalami kegagalan ekstrem akibat fenomena derivative kick. Pengujian pelacakan setpoint progresif divalidasi secara matematis di mana kontroler PI secara konsisten mampu menekan akumulasi penalti kuadrat galat (Integral of Square Error, ISE) pada titik stres tertinggi hingga sekecil 164,34. Pada pengujian penolakan gangguan (disturbance rejection) ekstrem yang menyimulasikan pelepasan beban masif ($10\ \Omega$ ke $40\ \Omega$), algoritma PI sukses meredam fluktuasi secara instan tanpa memicu osilasi berbahaya, dibuktikan dengan rendahnya akumulasi waktu pemulihan pada metrik Integral of Time-weighted Absolute Error (ITAE) sebesar 27,3088. Seluruh capaian pengujian ini secara mutlak telah memenuhi kriteria keberterimaan target spesifikasi desain ($\leq 5\%$). Dengan tingkat regulasi yang kokoh (robust), purwarupa ini terbukti valid dan siap diimplementasikan sebagai emulator turbin fungsional untuk eksperimen pengguna di laboratorium.

Kata kunci: Capstone Design, Emulator Turbin Air, FreeRTOS, Kendali Daya Konstan, Kontrol PI, Motor DC.